

**ANALISIS DOSIS RADIASI PADA KOLAM AIR IRADIATOR
GAMMA 2 MCi MENGGUNAKAN MCNP**

Kristiyanti, Edy Karyanta
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN
Email : kristiyantiwst@yahoo.com

ABSTRAK

ANALISIS DOSIS RADIASI PADA KOLAM AIR IRADIATOR GAMMA 2 MCi MENGGUNAKAN MCNP. Irradiator yang dikaji adalah tipe kolam menggunakan sumber radiasi Cobalt-60 (Co-60) bentuk batang pensil yang tersusun sebagai rak papan pipih. Irradiator didesain untuk aktivitas 2 MCi. Namun untuk analisis keselamatan, aktivitas yang dipertimbangkan adalah 1,5 kali atau 3 MCi. Apabila iradiator sedang tidak beroperasi sumber radiasi tersimpan dan terendam dalam dasar kolam air yang mempunyai ukuran panjang 360 cm, lebar 280 cm dan kedalaman 600 cm. Tujuan dari analisis adalah untuk mengetahui pada kedalaman air berapa paparan radiasi sudah aman bagi operator. Metode yang digunakan adalah perhitungan dosis radiasi menggunakan program MCNP6. Dari hasil analisis didapatkan bahwa pada kedalaman - 163 cm dosis radiasi di dalam air kolam sudah mendekati nol $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Dapat disimpulkan bahwa jika pada saat iradiator tidak beroperasi dan sumber radiasi berada di dasar kolam, maka paparan yang dihasilkan di atas kolam masih dalam batas aman bagi operator sesuai dengan ketentuan keselamatan BAPETEN.

Kata kunci : iradiator, kolam air, MCNP, dosis radiasi, operator.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE RADIATION DOSE OF THE 2 MCi GAMMA IRRADIATOR WATER POOL USING MCNP . The studied irradiator is wet storage type using Cobalt-60 (Co-60) as isotope source in the form of pencils arranged as flat board. The irradiator is designed for 2 MCi activity. But for safety analysis, it must consider 1.5 times or 3 MCi. When the irradiator is not in operation, the radiation sources are stored submerging in the pool. The pool has dimension of 360 cm x 280 cm and 600 cm in depth. The purpose of this analysis is to determine in which depth, the radiation dose is still safe. The method is to calculate the radiation dose using MCNP6 program. From the analysis it was found that at depth of 163 cm, the radiation is near zero $\mu\text{Sv}/\text{h}$. It can be concluded that if the irradiator is not in operation and the Cobalt source is in the bottom of the pool, then there is no significant radiation exposure on the pool surface, so that the operator will be safe complying safety regulations of BAPETEN

Key word : irradiator, water pool, MCNP, radiation dose, operator

1. PENDAHULUAN

Irradiator gamma aktivitas 2 MCi rancangan PRFN menggunakan jenis kolam dengan sumber isotop Cobalt-60 (Co-60). Sumber Cobalt-60 berbentuk batang pensil tersusun sebagai rak papan pipih yang tersimpan dalam kolam air. Kolam air sebagai tempat sumber radiasi disimpan, berfungsi sebagai perisai radiasi dan sebagai pendingin akibat dari hasil *gamma heating* [1]. Sesuai dengan ketentuan keselamatan berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No 4 tahun 2013 yaitu tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir disebutkan bahwa untuk petugas radiasi dosis rata-rata yang diterima sebesar 20 mSv (20 milli Sievert) per tahun [2]. Dalam sistem ini, petugas radiasi dinyatakan sebagai operator iradiator yang bekerja di sekitar kolam penyimpanan sumber. Dalam makalah ini akan

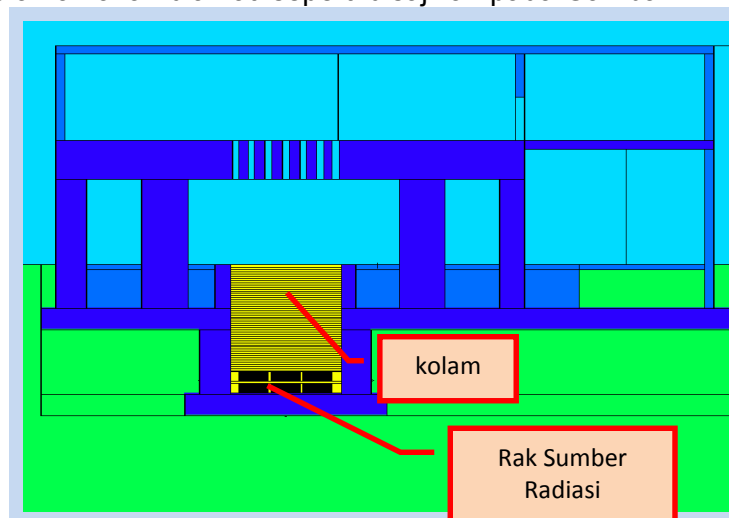
dibahas paparan yang dihasilkan sumber isotop di kolam air pada saat irradiator tidak beroperasi yaitu pada saat sumber radiasi berada di dasar kolam.

Kolam air irradiator mempunyai kedalaman 600 cm. Sumber radiasi menempati posisi di dasar kolam yang tersusun dengan tinggi sumber radiasi 100 cm. Karena air berfungsi sebagai perisai radiasi, maka ketebalan air dari sumber radiasi perlu dihitung untuk mengetahui besarnya paparan yang dihasilkan pada permukaannya. Perhitungan dosis radiasi menggunakan Monte Carlo N Particle 6 (MCNP6), dengan cara kedalaman air atau tinggi air dibuat berlapis sehingga terbentuk banyak sel. MCNP akan menghitung paparan yang ditimbulkan disetiap sel. Paparan akan dihitung pada lapisan sel ke berapa paparan dianggap aman. Dari hasil analisis diharapkan bisa diketahui nilai paparan radiasi pada saat irradiator tidak beroperasi, sehingga operator yang berada di atas kolam tersebut aman dari paparan radiasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

2. DASAR TEORI

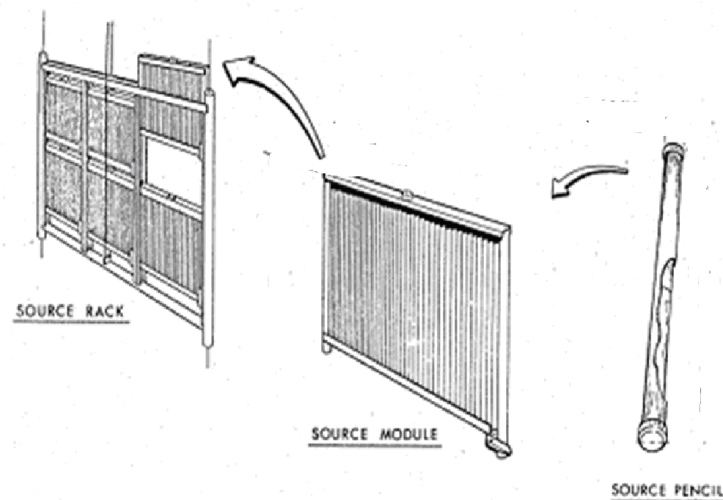
Dosis radiasi merupakan jumlah energi radiasi yang diserap oleh material tiap satuan massa. Pada prinsipnya dosis radiasi bisa diketahui dari pengukuran dan perhitungan. Pengukuran dapat dilakukan menggunakan alat dosimeter, sementara perhitungan dapat dilakukan menggunakan metode deterministik (analitik) dan probabilistik (statistik). Salah satu metode probabilistik yang dapat digunakan adalah Monte Carlo. MCNP mensimulasikan perjalanan partikel neutron, elektron dan foton dalam suatu material tiga dimensi, dan akan mensimulasikan partikel tersebut dimulai dari dia “lahir” kemudian berinteraksi dengan material hingga berakhir di “daerah mati” [3].

Irradiator didesain aktivitas 2 Mci. Namun demikian, untuk menghitung dosis radiasi, maka diasumsikan aktivitas sumber adalah 3 MCi. Kolam air irradiator mempunyai ukuran panjang 360 cm, lebar 280 cm dan kedalaman 600 cm. Besarnya dosis radiasi pada setiap level kedalaman akan diamati seperti disajikan pada Gambar 1



Gambar 1. Kolam irradiator [1]

Di kolam tersebut air berfungsi sebagai perisai radiasi untuk sumber radiasi Co-60 yang berbentuk batang pensil dengan ukuran diameter 1,11 cm dan panjang 43 cm dengan jumlah 480 buah yang tersusun sebagai papan pipih. Sumber batang tersebut mengisi slot rak sumber seperti disajikan pada Gambar 2 [4]. Diasumsikan semua slot sumber radiasi terisi semua. Tinggi rak sumber 100 cm dan sumber ditempatkan di bagian bawah kolam air yaitu di posisi -600 cm.



Gambar 2. Rak sumber [4]

Dosis efektif

Untuk keperluan proteksi radiasi, besarnya laju dosis efektif pada suatu sel perlu dihitung. Dosis ekivalen merupakan besaran turunan dosis serap yang mempertimbangkan kemampuan radiasi untuk menimbulkan kerusakan pada satu organ atau jaringan. Dosis ekivalen tersebut disebut sebagai faktor bobot radiasi (W_r). Sedangkan dosis efektif adalah turunan dosis ekivalen yang mempertimbangkan tingkat kepekaan organ akibat radiasi, dan disebut sebagai faktor bobot organ (W_t).

Dosis efektif [5]:

$$E_t = \sum (W_r \cdot W_t \cdot D) \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- E_t : dosis efektif (rem)
- D : dosis serap (rad)
- W_r : faktor bobot radiasi
- W_t : faktor bobot organ

Nilai bobot jenis radiasi photon adalah 1 dan nilai bobot organ untuk seluruh tubuh diambil 1. Dengan mengkonversikan dosis serap dari Gy/jam ke rad/jam maka dosis efektif bisa dihitung.

3. TATA KERJA

Iradiator gamma didesain dengan aktivitas 2 MCi. Untuk menjamin keamanan maka perhitungan menggunakan satu setengah kali besar aktivitas yang akan digunakan [6]. Pemodelan menggunakan MCNP membagi kolam dibagi menjadi banyak sel yang berlapis-lapis dengan ukuran sel yaitu panjang dan lebar sesuai ukuran kolam, sedangkan tinggi setiap sel 10 cm. Tebal air dihitung dari batas sumber radiasi yaitu urutan kedalaman kolam dari bawah -500 cm sampai keatas permukaan air kolam yaitu 0 cm.

Data-data yang digunakan MCNP untuk perhitungan dosis meliputi :

- Kartu sel diisi dengan obyek yang akan disimulasi didefinisikan sebagai suatu sel
- Kartu permukaan diisi dengan bentuk dan nilai dari bidang permukaan yang memotong sumbu koordinat. Untuk memudahkan dalam pemodelan, obyek dengan

geometri yang kompleks, dibagi menjadi lebih banyak sel. Hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh sejauh mana pemodelan geometri mendekati realita obyek.

- Kartu data berisi data material, data sumber partikel, talli (*tally*) yang akan diinginkan.

Data material yang digunakan terdiri dari sumber radiasi yaitu Co-60 yang tersimpan dalam pensil tertutup dengan *casing* dari *stainless steel* 316L dan di dalam pensil terdapat rongga udara. Batang silinder pensil mempunyai ukuran diameter 7 mm, tinggi 43,7 mm, dengan aktivitas 8,110 Ci per batang yang disusun berbentuk papan dengan aktivitas total 2 MCi [1]. Air kolam merupakan air demineral yang mempunyai nilai konduktivitas < 10 mho, harus bebas dari unsur halida yaitu ion Clorida (Cl^{-1}) dan Flourida (F^{-1}), karena unsur-unsur tersebut akan mengakibatkan korosi pada lapisan dinding kolam sehingga bisa terjadi kebocoran kolam [6].

Kartu data untuk kolam iradiator ditulis sebagai berikut [7]:

Udara kering; densitas 0.001205 g/cc

c udara kering mat no 4 dalam PNNL-15870 Rev 1

m3	6000	-0.000124	\$ C
	7000	-0.755268	\$ N
	8000	-0.231781	\$ O
	18000	-0.012827	\$ Ar

SS-316L; densitas 8.0 g/cc

c Stainless steel 316L mat no 298 dalam PNNL-15870 Rev 1

m10	6000	-0.000400	\$ C
	14000	-0.005000	\$ Si
	15000	-0.000230	\$ P
	16000	-0.000140	\$ S
	24000	-0.190000	\$ Cr
	25000	-0.010000	\$ Mn
	26000	-0.701730	\$ Fe
	28000	-0.092500	\$ Ni

c Air mineral; densitas 0.998207 g/cc

	1000	-0.111894	\$ H
	8000	-0.888106	\$ O

Cobalt; densitas 8.90 g/cc

m9	27000	-1.000000	\$ Co
----	-------	-----------	-------

Talli merupakan besaran fisis yang diinginkan dari hasil simulasi. Agar MCNP menghitung energi yang terdisipasi pada suatu sel maka dapat digunakan talli F6 sebagai inputan. Pada kondisi ini MCNP akan memberikan output energi radiasi gamma yang terdisipasi dalam satuan MeV/g dalam sel, dan untuk dosis satuannya adalah joule/kg atau gray (Gy). Untuk itu dari output masih harus diberikan faktor pengali atau *Faktor Multiplication* (FM) [3].

Besaran faktor FM bisa dijelaskan sebagai berikut [5]:

1. Sinar gamma (γ) dari Co-60 memancarkan dua radiasi γ dengan 2 photon per peluruhan (*2 photon/desintegration*).
2. Satu peluruhan per detik setara dengan satu Becquerel.
Besaran aktivitas diukur dengan Becquerel yang disingkat dengan lambang Bq.
1 Curie (Ci) didefinisikan sebagai $3,7 \cdot 10^{10}$ peluruhan per detik.
Sehingga $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq/detik}$.

3. Radiasi didefinisikan sebagai pancaran atau rambatan energi melalui materi atau ruang dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnet.
Satuan energi adalah Joule (J). Untuk proteksi radiasi digunakan satuan elektron Volt (eV) dimana 1 eV adalah besar energi yang diperoleh bila elektron dipercepat melalui beda potensial 1 volt.

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ erg} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ erg}$$
4. Laju dosis serap adalah dosis serap per satuan waktu dengan satuan Joule/Kg.jam atau Gray/jam.
1 Gray (Gy) adalah energi energi rata-rata sebesar 1 J yang diserap bahan dengan masa 1 Kg.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$
Satuan lain adalah rad.

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$
5. 1 rad adalah energi rata-rata sebesar 100 erg yang diserap bahan dengan masa 1 gram.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg.}$$
6. Dalam perhitungan dibutuhkan satuan jam atau detik.

Jadi FM untuk aktivitas 3.MCi :

FM =

$$(3 \cdot 10^6 \text{ Ci}) \times \left(\frac{2 \cdot \text{ph}}{\text{des}} \right) \times \left(3,7 \cdot 10^{10} \frac{\text{des}}{\text{Ci} \cdot \text{sec}} \right) \times \left(1,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{erg}}{\text{MeV}} \right) \times \left(\frac{1 \cdot \text{Gy}}{100 \cdot \text{rad}} \right) \times \left(\frac{1 \cdot \text{rad} \cdot \text{gr}}{100 \cdot \text{erg}} \right) \times \left(\frac{3600 \cdot \text{sec}}{\text{hr}} \right)$$

$$= 1278,72 \cdot 10^8 \frac{\text{ph} \cdot \text{Gy} \cdot \text{gr}}{\text{hr} \cdot \text{MeV}}$$

Harga FM ini masih akan dikalikan dengan besarnya energi talli F6 pada cell yang mempunyai satuan MeV/gr per photon. Sehingga akan didapatkan laju dosis dengan satuan Gy/hr, kemudian dikonversikan lagi menjadi dosis efektif dengan satuan Sv/jam.

Dalam kartu data dimasukkan jumlah partikel yang akan disimulasikan atau *number particles simulation* (NPS). Semakin besar nilai NPS nya maka akan semakin lama juga MCNP melakukan proses perhitungannya, namun keuntungannya adalah akan semakin rendah nilai kesalahannya. Jika 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq/detik atau untuk aktivitas 1 Ci akan terjadi $3,7 \cdot 10^{10}$ peluruhan per detik, maka dengan penggunaan sumber radiasi Co-60 aktivitas 3 MCi akan terjadi 10^{17} peluruhan per detik. Jadi NPS yang dibutuhkan 10^{17} . Hasil output MCNP adalah nilai dari simulasi satu buah partikel. Untuk mendapatkan dosis yang sebenarnya masih dikalikan dengan jumlah partikel dan waktu penyinaran.

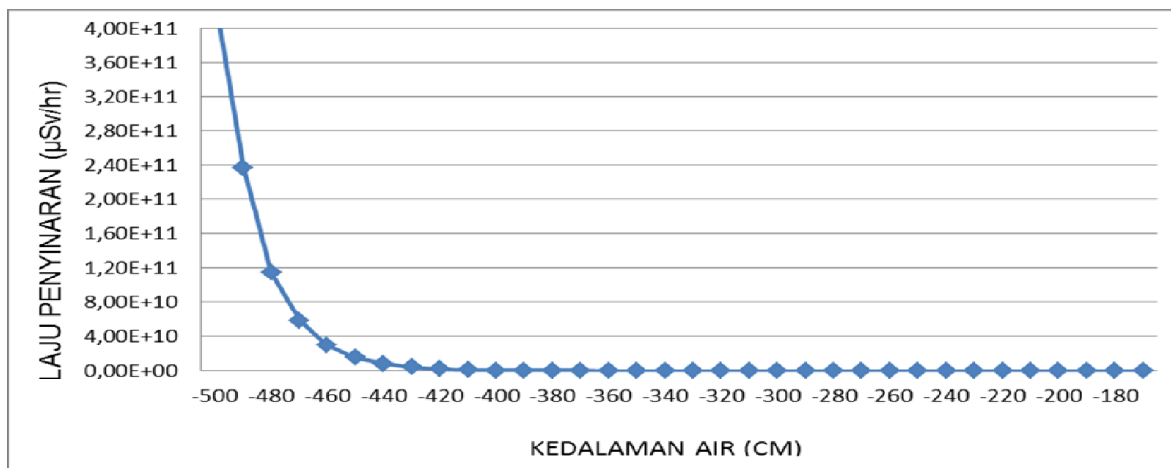
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan analisis besarnya dosis irradiator gamma 3 MCi yang merupakan 1,5 kali kapasitas maksimum menggunakan MCNP pada NPS 10^{10} . Hasil perhitungan laju penyinaran didapatkan dengan satuan MeV/gram dan telah dikonversikan menjadi satuan $\mu\text{Sv/jam}$. Perhitungan MCNP dengan NPS 10^{10} hanya bisa mendeteksi sampai pada kedalaman kolam -170 cm, dengan nilai dosis 54,3055 $\mu\text{Sv/jam}$. Hasil perhitungan yang diharapkan menggunakan NPS 10^{17} , yaitu sesuai dengan besarnya sumber radiasi sehingga bisa mendeteksi paparan yang paling kecil. Tetapi karena keterbatasan kecepatan kemampuan dari komputer yang tersedia di PRFN, maka jika menggunakan perhitungan NPS 10^{17} dibutuhkan waktu proses menghitung yang sangat lama. Sehingga perhitungan hanya bisa dilakukan dengan menggunakan NPS 10^{10} yang membutuhkan

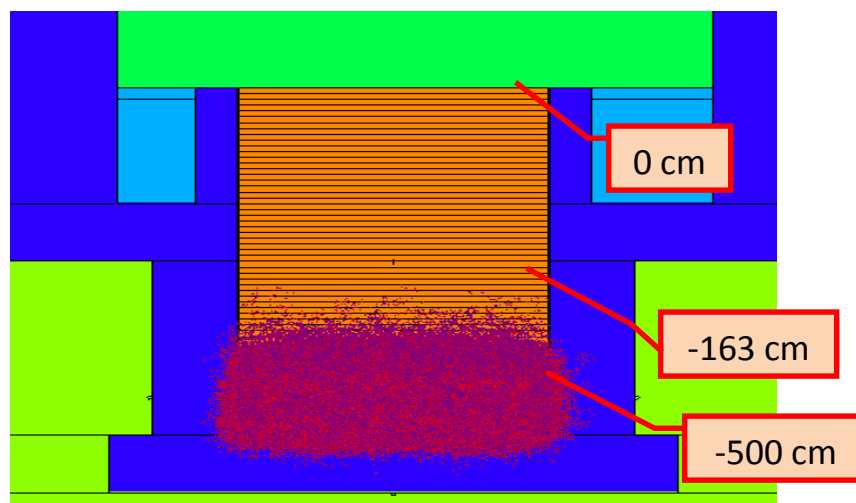
waktu proses menghitung satu minggu. Gambar 3 memberikan grafik hubungan antara laju penyinaran dan kedalaman air.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan ekstrapolasi laju dosis pada kedalaman -180 cm dan -170 cm didapatkan bahwa pada kedalaman air -163 cm atau pada ketebalan air 337 cm di atas sumber laju penyinaran yang ditimbulkan sumber radiasi sudah mendekati nol $\mu\text{Sv/jam}$, atau paparan sudah tidak terdeteksi. Artinya pada ketinggian 437 cm dari dasar kolam sudah aman (karena tinggi sumber radiasi 100 cm), Sehingga bisa dipastikan bahwa paparan diatas permukaan air atau pada kedalaman 0 cm sudah tidak ada paparan radiasi.

Personil yang akan berada di atas kolam adalah operator sebagai petugas radiasi dan sesuai ketentuan PERKA BAPETEN nilai batas dosis (NBD) yang diizinkan adalah 20 mSv/tahun. Jika dalam proteksi radiasi dalam 1 tahun dianggap 200 jam, maka NBD untuk operator sesuai ketentuan tidak boleh lebih dari 12,5 $\mu\text{Sv/jam}$. Sehingga operator yang berada di atas kolam akan aman dari paparan radiasi. (Tumbukan partikel seperti disajikan dalam Gambar 4).



Gambar 3. Grafik hubungan antara laju penyinaran dan kedalaman air



Gambar 4. Tumbukan partikel

5. KESIMPULAN

Iradiator tipe kolam dengan sumber radiasi Co-60 aktivitas 2 MCi rancangan PRFN jika pada saat tidak beroperasi sumber radiasi berada pada dasar kolam air yang

mempunyai kedalaman -600 cm. Perhitungan paparan yang ditimbulkan dengan menggunakan MCNP6 pada NPS 10^{10} dosis radiasi yang terpantau hanya sampai pada kedalaman -170 cm yaitu sebesar 54,3055 $\mu\text{Sv/jam}$. Sedangkan dari hasil perhitungan ekstrapolasi pada kedalaman -163 cm dosis radiasi yang ditimbulkan sudah mendekati nol $\mu\text{Sv/jam}$, sehingga posisi diatas air kolam aman atau operator tidak akan terkena paparan.

6. TERIMA KASIH

Dalam penyusunan makalah ini kami ucapkan terima kasih kepada teman-teman team Dosimetri Iradiator dan Bp Dr Dhandhang Purwadi sebagai ketua team yang telah membimbing dalam perhitungan MCNP.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Budi Santoso, 2014,,*Penyiapan Design Rinci Iradiator 200 kCi*, Usulan Kegiatan PRFN-BATAN,
- [2]. Anonim, 2013, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No 4 tahun 2013*.
- [3]. Rasito, 2013, *Pengenalan MCNP Untuk Pengkajian Dosis*, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, BATAN.
- [4]. Anonim, 2014, *Technical Specification Multipurpose Continuous and Batch Gamma Irradiator*, PT Gamma Mitra Lestari, Jakarta.
- [5]. Suwarno Wiryosimin, 1995, *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*, Penerbit ITB Bandung,
- [6]. Anonim, 2010, *IAEA Safety Standards Series No SSG-8, Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, Specific Safety Guide*, Vienna
- [7]. Anonim, 2013, *MCNP6TM User's Manual-Version 1.0*, Los Alamos National Laboratory.